

ÖZET**MAKİNE İMALAT SANAYİ İÇİN DÜŞÜK KARBONLU BEYİNİTİK ÇELİK**

Buluş, makine imalat sanayinde sıklıkla tercih edilen ıslahlı 42CrMo4 çelik alaşımı ile benzer mekanik özellikleri ısıtılma işlemi olmadan gösteren ve bununla beraber daha ekonomik, daha iyi kaynaklanabilir alternatif yeni bir çelik alaşımı ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Buluş, sıcak haddeleme sonrasında ısıtma işlemi gerektirmeyen düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup kimyasal kompozisyonun özelliği;
 - i. % 0,05-0,15 Karbon (C)
 - ii. % 0,80-1,00 Silisyum (Si)
 - 10 iii. % 2,50-3,00 Manganez (Mn)
 - iv. % 0,05-0,15 Vanadyum (V)
 - v. % 0,020-0,100 Alüminyum (Al)
 - vi. % 0,040-0,070 Kükürt (S)
 - vii. % 0,025-0,040 Titanyum (Ti)
 - 15 viii. % 0,001-0,003 Bor (B)
 - ix. % 0,030-0,050 Niyobyum (Nb)
 - x. % 0,005-0,008 Azot (N)

içermesi ile karakterize edilmektedir.
2. İstem 1'e uygun düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup, özelliği; haddeleme sıcaklığı (T_{def}) < T_{NR} ve haddeleme sonrası soğuma hızı 0,5-1 °C/s koşullarında en az 800 megapascal (MPa) akma mukavemetine (R_p) sahip olmasıdır.
3. İstem 1'e uygun düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup, özelliği; haddeleme sıcaklığı (T_{def}) < T_{NR} ve haddeleme sonrası soğuma hızı 0,5-1 °C/s koşullarında en az 1150 MPa çekme mukavemetine (R_m) sahip olmasıdır.
- 25 4. İstem 1'e uygun düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup, özelliği; haddeleme sıcaklığı (T_{def}) < T_{NR} ve haddeleme sonrası soğuma hızı 0,5-1 °C/s koşullarında en az %15 uzamaya (%L) sahip olmasıdır.
5. İstem 1'e uygun düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup, özelliği; haddeleme sıcaklığı (T_{def}) < T_{NR} ve haddeleme sonrası soğuma hızı 0,5-1 °C/s koşullarında en az %45 kesit daralmasına (%A) sahip olmasıdır.
- 30 6. İstem 1'e uygun düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı olup, özelliği; haddeleme sıcaklığı (T_{def}) < T_{NR} ve haddeleme sonrası soğuma hızı 0,5-1 °C/s koşullarında oda sıcaklığında en az 60 Joule çentik darbe tokluğuna sahip olmasıdır.

MAKİNE İMALAT SANAYİ İÇİN DÜŞÜK KARBONLU BEYNİTİK ÇELİK**TEKNİK ALAN**

Buluş, sıcak haddeme sonrasında ısıtıl işlem gerektirmeyen düşük karbonlu beynitik (DKB) çelik alaşımı eldesi ile ilgilidir.

10 TEKNİĞİN BİLİNER DURUMU

Günümüzde makina imalat sanayinde kullanılan mühendislik çeliklerinden yüksek mukavemet ve yüksek tokluk özelliklerinin yanı sıra iyi bir kaynaklanabilirlik ve işlenebilirlik performansı beklenmektedir. Makine ve bileşenlerinin mekanik tasarımında kullanılacak çelik alaşımların mukavemet, tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri arasında çok iyi bir dengenin sağlanması gerekmektedir. İslah çelikleri belirtilen mühendislik gereksinimlerinin karşılanabilmesi için bu alanda yaygın bir biçimde kullanılan bir çelik grubudur. Ancak sundukları mekanik özellikleri yarı mamul veya nihai parça üretimi sonrasında uygulanan ve maliyetleri arttıran ilave bir ısıtıl işlem prosesi (+QT = Su verme + Menevişleme) sonrasında kazanmaktadır.

20 Temperlenmiş martenzit yapısı sayesinde yüksek akma ve çekme mukavemeti ile birlikte iyi bir darbe tokluğu sağlayabilen ıslah çeliklerinde karbon oranının genelde %0,30'dan fazla olması makina imalat sektöründe önemli diğer bir malzeme özelliği olan kaynaklanabilirliği zayıflatmaktadır. İslah çeliklerinin kimyasal kompozisyonunda bulunan yüksek karbon oranı, çeliğin kaynak sırasında ve kaynak sonrasında ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) hızlı soğuma nedeni ile sert, kırılğan temperlenmemiş martenzit fazının oluşumuna neden olmaktadır ve bu faz yapısı malzemenin kaynak bölgesinden başlayan çatlak oluşumları meydana getirebilmektedir. Malzemelerin kaynaklanabilirliği karbon eşdeğeri (CE) ile belirlenmekte olup malzemenin CE değeri arttıkça kaynaklanabilirliği azalmaktadır.

30 Uzun yarı mamul şeklinde üretilecek ıslah çeliklerinin eldesinde aşağıda belirtilen temel işlem sırası uygulanmaktadır.

- Öncelikli olarak malzemeler şekil verme prosesi için ortalama 1200 °C sıcaklığa kadar tav fırınlarında ısıtılmaktadır. Konvensiyonel olarak 1000–1150 °C sıcaklık aralığında haddelenen çelikler soğuma ızgaralarında durgun havada soğumaya bırakılmaktadır.

- 5
- Haddelenmiş malzemelere sertleştirme yapılmak üzere önce östenit faz bölgesine ısıtma ve sonrasında su, yağ veya polimer gibi soğutucu ortamlarda hızlı soğutma (su verme) uygulanarak martenzitik bir faz yapısı elde edilmektedir.
 - Su verme sonrasında çok sert olan martenzitik yapı ort. 450-550 °C sıcaklıklarında menevişlenerek çeliğin sertliği düşürülür ve sünekliliği artırılır.
- 10
- İnce çaplı malzemelerde su verme sonrasında çarpılma meydana gelebilmektedir. Böyle bir durum mevcut ise malzemeler doğrultma prosesinden geçirilmektedir. Doğrultma prosesi sonrasında malzemede oluşan iç gerilimin giderilmesi amacıyla da gerilim giderme tavlama uygulanmaktadır.

15 Görüldüğü gibi ıslah çeliklerinin kullanılması ile üretilecek uzun yarı mamulün üretim zinciri malzemenin sıcak haddeleme sıcaklığına tavlama ile başlamaktadır. Hadde prosesi ile şekil verilen malzeme daha sonra su verme işlemi için yeniden östenitleme sıcaklığına ısıtılarak bu bölgede malzeme kesitine göre belirli bir süre tutulmaktadır. Östenitleme işleminin ardından malzemenin sertliğinin artırılması amacıyla su verme

20 ile hızlı soğuma uygulanarak mikroyapının martenzitik olması sağlanmaktadır. Ancak bu yapı çok sert ve kırılgan bir yapı olduğu için tekrardan 450-550°C sıcaklıklarında uygulanan menevişleme işlemi ile temperlenmiş martenzit yapısı elde edilir ve malzemenin sertliği düşürülerek tokluğu artırılır ve nihai mekanik özellikler kazandırılmaktadır. Ayrıca uzun yarı mamul üretiminde ince kesitli malzemelerde su

25 verme sonrasında malzemede çarpılma meydana gelebilmekte ve bir doğrultma operasyonu uygulanmaktadır. Son olarak doğrultma sırasında meydana gelen gerilimlerin giderilmesi amacıyla da gerilim giderme tavlama uygulanabilmektedir.

Islah çelikleri dışında, sundukları yüksek mukavemet değerleri ve üretim prosesi gereği daha düşük maliyetli olarak ön plana çıkan bir başka çelik grubu da mikroalaşımlı

30 çeliklerdir. Bu tür çeliklerden Ti, V, Nb gibi mikroalaşım elementlerinin katkısı ile yüksek mukavemet değerleri elde edilse de bu tür çeliklerin ıslah çeliklerine göre dezavantajı makine imalat sanayi için kritik olan darbe tokluğu, kırılma tokluğu ve kaynaklanabilirlik gibi özelliklerinin yetersiz kalmasıdır.

Islah çeliklerinin bu uzun üretim zincirine karşın aynı mekanik özellikleri gösterebilen

35 beynitik çeliklerin proses çevrimi ise çok daha kısadır. Beynitik çelikler sıcak haddeleme sonrasında durgun havada kontrollü bir şekilde soğutularak hedeflenen

5 nihai mekanik değerler elde edilebilmektedir. Bu tip çelikler aynı zamanda hadde sonrası hızlı soğutularak farklı mekanik özellikler de sunabilmektedir.

Islah eliklerinin, yüksek seviyedeki mekanik değerleri sağlaması ve makine imalat endüstrisinde yaygın bir kullanımı bulunmasına rağmen sürekli artan ham malzeme, enerji ve doğalgaz fiyatları, zayıf kaynaklanabilirlik özellikleri, üreticilerin daha hızlı 10 üretim çevrimi beklentileri ve ıslah prosesinde meydana gelen CO₂ emisyonu nedeni ile üreticileri ilgili mühendislik gereksinimlerinin sağlanması şartı ile daha düşük maliyetli, daha iyi kaynaklanabilir ve üretim prosesi çevreye daha az zarar veren yeni çeliklerin arayışına yönlendirmektedir.

Islah elikleri arasında en yaygın olarak kullanılan 42CrMo4 kalitesinin mekanik 15 özelliklerini sağlamak kaydı ile ıslah çelikleri için bahsedilen zayıf kaynaklanabilirlik, şekillendirme sonrası ilave ısıl işlem prosesi ve buna bağlı olarak fazladan elektrik ve doğalgaz tüketimi, Molibden gibi yüksek maliyetli alaşım elementi içermesi gibi olumsuzluklar ve söz konusu olumsuzluklara tek bir elik kalitesi ile çözüm bulmak amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde ilgili teknik alanda kalıcı bir çözüm 20 bulunamadığı anlaşılmaktadır. Söz konusu olumsuzlukların giderilmesini sağlamak üzere ilgili teknik alanda bir yenilik yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

BULUşUN AMACI

Mevcut buluş, yukarıda bahsedilen problemleri ortadan kaldırmayı ve ilgili alanda teknik bir yenilik yapmayı amaçlamaktadır.

25 Buluşun ana amacı, zgn bir kimyasal kompozisyon ve proses ilişkisi sayesinde düşük karbonlu beynitik yapıda bir elik elde ederek sıcak haddeleme sonrasında ilave ısıl işlem prosesine gerek olmadan sadece durgun havada soğuma ile 42CrMo4 (16-40 mm çaplı) ıslah çeliği kalitesinin ıslah prosesi ile elde edilen mekanik özelliklerini sağlayabilecek ekonomik, daha iyi kaynaklanabilir bir elik malzeme sunmaktır.

30 Buluşun amacı, uzun yarı mamul üretiminde üretim maliyeti yüksek olan ıslah çeliklerinin yerine alternatif olarak kullanılabilecek ve üretim maliyeti daha düşük yeni bir elik kalitesi ortaya koymaktır.

Buluşun amacı, ilave ısıl işlemi ortadan kaldırarak üretimde meydana gelen fazladan CO₂ emisyonunu önlemektir.

5 Buluşun amacı, ilave ısıtma işlemi ihtiyacı duyulmayacağı için ısıtma prosesinde kullanılan doğalgaz ve elektrik tüketim maliyetini ortadan kaldırmaktır.

Buluşun amacı, 42CrMo4 ısıtma çeliği kalitesinin ısıtma prosesi ile elde edilen mekanik özelliklerini sağlamak koşulu ile Mo ve Ni gibi yüksek maliyetli alaşım elementleri kullanılmayarak çelik malzeme maliyetini düşürmektir.

10 BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

Buluş, sıcak haddeleme sonrasında ısıtma işlemi gerektirmeyen düşük karbonlu beyaz çelik alaşımıdır.

Buluşun alternatif bir uygulamasında çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırmak, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltmak üzere ağırlıkça %0.10 ile %0.15 karbon (C) bulunmaktadır.

Buluşun alternatif bir diğer uygulamasında çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırmak; elektriksel akım yitimi önlemek üzere ağırlıkça %0,80 ile %1,00 silisyum (Si) bulunmaktadır.

20 Buluşun alternatif bir diğer uygulaması çeliğin dayanımını, sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini artırmak ve kırılabilirliğe neden olan demir kükürt bileşiğinin oluşumunu engelleyerek mangan kükürt bileşiğini oluşturmak üzere ağırlıkça %2,9 ile %3,1 mangan içermektedir.

25 Buluşun tercih edilen bir yapılmasında çelik üzerinde tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını ve sertleşebilme kabiliyetini artırmak aynı zamanda münaveşleme ve ikinci sertleşmede sağlamak üzere ağırlıkça %0,08 ile %0,12 vanadyum bulunmaktadır.

Buluşun tercih edilen bir diğer yapılmasında çeliğin yapısındaki oksijeni gidermek, akma dayanımını ve darbe dayanımını artırmak ayrıca tane boyutunu küçültmek üzere ağırlıkça %0,020 ile %0,050 alüminyum bulunmaktadır.

30 Buluşun tercih edilen bir diğer yapılması çeliğin tokluğunu ve sünekliğini azaltmak üzere ağırlıkça %0,040 ile %0,060 kükür içermektedir.

Buluşun mümkün olan bir yapılmasında çeliğin tane yapısını küçültmek ve paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini gidermek üzere ağırlıkça %0,0250 ile %0,400 titanyum bulunmaktadır.

- 5 Buluşun mümkün olan bir diğer yapılanması çelik malzemenin yüzey sertliği ve aşınma dayanımı artırmak üzere ağırlıkça %0,0050 ile %0,0080 azot içermektedir.

Buluşun mümkün olan bir diğer yapılanmasında çeliğin düşük sıcaklıklarda mukavemetini artırmak üzere ağırlıkça %0,0300 ile %0,0500 süper iletken özelliğe sahip niyobyum bulunmaktadır.

- 10 Buluşun tercih edilen bir diğer yapılanmasında çeliklerde sertleşebilirliği iyileştirmek, su verilmiş ve temperlenmiş durumda mukavemetini artırmak üzere ağırlıkça %0,0010 ile %0,0030 bor bulunmaktadır.

- 15 Buluşun alternatif bir diğer yapılanması çelik elde edilmesini sağlamak üzere çeliğin hammaddesi olarak ağırlıkça yüzdeyi %100'e tamamlayacak oranda demir içermektedir.

Buluşun kabul edilen bir yapılanmasının özelliği en az 800 megapascal (MPa) akma mukavemetine sahiptir.

Buluşun kabul edilen bir diğer yapılanmasının özelliği en az 1150 MPa çekme mukavemetine sahiptir.

- 20 Buluşun kabul edilen bir yapılanmasının özelliği en az %15 uzamaya sahiptir.

Buluşun kabul edilen bir diğer yapılanmasının özelliği en az %45 kesit daralmasına sahiptir.

Buluşun kabul edilen bir yapılanmasının özelliği oda sıcaklığında en az 60 Joule çentik darbe tokluğuna sahiptir.

- 25 Buluş, sıcak haddeleme sonrasında ısıtma işlemi gerektirmeyen düşük karbonlu bey nitik çelik alaşımı üretim yöntemidir.

- 30 Buluşun alternatif olan bir yapılanmasında alaşımlama olarak ağırlıkça % 0,10-0,15 Karbon (C), % 0,80-1,00 Silisyum (Si), % 2,9-3,1 Mangan (Mn), % 0,08-0,12 Vanadyum (V), % 0,020-0,050 Alüminyum (Al), % 0,040-0,060 Kükürt (S), % 0,0250-0,0400 Titanyum (Ti), % 0,0010-0,0030 Bor (B), % 0,0300-0,0500 Niyobyum (Nb), % 0,0050-0,0080 Azot (N) elementlerinin alaşımlama işlemi olarak eritilerek ağırlıkça yüzdeyi %100'e tamamlayacak oranda demire eklenmesi ile elde edilir.

5 Buluşun tercih edilen bir diğer yapılanması oluşan sıvı çeliğin ingot döküm veya sürekli döküm ile katılaştırılması elde edilir.

Buluşun tercih edilen bir diğer yapılanması meydana gelen ingotların veya kütüklerin 1200 C° sıcaklığa ısıtılarak termomekanik haddeleme işlemi yapılması ile elde edilir.

10 Buluşun kabul edilen bir yapılanmasında kontrollü soğutma işlemi yapılması yöntem adımlarını içermektedir.

Buluşun kabul edilen bir diğer yapılanmasının özelliği çeliğin korozyon ve oksidasyon direncini sağlamak ve sertleşebilme kabiliyetini artırmak üzere ağırlıkça en fazla %0.20 krom, çeliğin darbe dayanımını artırmak ve ostenitik paslanmaz çelik formuna yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırmak üzere ağırlıkça en fazla %0.20 nikel ve çeliğin 15 tane boyutunun büyümesini önlemek, sertleşebilme kabiliyetini artırmak, meneviş gevrekliğini gidermek ve korozyon direncini artırmak üzere ağırlıkça en fazla %0.03 molibden içeren gruptan seçilecek birey veya kombinasyonların kimyasal kompozisyon belirleme sürecinde kullanılmasıdır.

DETAYLI ANLATIMDA KULLANILAN KISALTMALAR

- 20 • T_{def} ile ifade edilen kısım deformasyon sıcaklığıdır.
- T_{NR} ile ifade edilen kısım rekristalizasyon sıcaklığıdır.
- °C ile ifade edilen kısım santigrat derecedir.
- MPa ile ifade edilen kısım megapascaldır.
- Si ile ifade edilen kısım silisyumdur.
- 25 • Mn ile ifade edilen kısım mangandır.
- C ile ifade edilen kısım karbondur.
- V ile ifade edilen kısım vanadyumdur.
- B ile ifade edilen kısım bordur.
- Ti ile ifade edilen kısım titanyumdur.
- 30 • Nb ile ifade edilen kısım niyobyumdur.
- Al ile ifade edilen kısım alüminyumdur.
- S ile ifade edilen kısım kükürttür.
- N ile ifade edilen kısım azottur.
- Cr ile ifade edilen kısım kromdur.
- 35 • Mo ile ifade edilen kısım molibdendir.

- 5 • Ni ile ifade edilen kısım nikeldir.
- Fe ile ifade edilen kısım demirdir.
- DKB ile ifade edilen kısım düşük karbonlu çeliktir.
- TMHP ile ifade edilen kısım termomekanik haddeleme prosesidir.
- CE ile ifade edilen kısım karbon eşdeğeridir.

10 BULUŞUN DETAYLI ANLATIMI

Bu detaylı açıklamada buluş konusu, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik hiçbir sınırlayıcı etki oluşturmayacak örneklerle açıklanmaktadır.

Aşağıda ayrıntıları ile detaylı anlatılan buluş, 16-40 mm çap aralığında uzun yarı mamul üretimine uygun tasarlanmış, termomekanik haddeleme ($T_{def} < T_{NR}$ sıcaklıkları) ve durgun havada soğuma ($0,5-1$ °C/saniye soğuma hızları) şartlarında mikroyapısında alt beynit, granular beynit ve martenzit fazlarını barındıran, Akma Mukavemeti (R_p) minimum 800 MPa, Çekme mukavemeti (R_m) minimum 1150 MPa, %Uzama (L) minimum %15, % Kesit Daralması (A) minimum %45 olan, çentik darbe tokluğu oda sıcaklığında minimum 60 Joule olan ve ağırlıkça %0,05-0,15 C, %0,50-1 Si, %2,5-3 Mn, %0,06-0,12 V, %0,0010-0,0020 B, %0,0200-0,0350 Ti, %0,0300-0,0500 Nb, %0,015-0,0100 Al, %0,040 – 0,070 S ve en fazla %0,0080 N içeren, buna karşın Cr, Mo, Ni ilave edilmeyen ve tamamlayıcı Fe elementi ihtiva eden bir düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı ile ilgilidir.

Aşağıda düşük karbonlu beynitik çelik elde edilmesi için ortaya konan alaşım elementlerinin görevleri ve ağırlıkça oranları verilmiştir.

- Çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırmak için karbon kullanılmaktadır. Ancak yüzde uzamayı, düşük sıcaklık tokluğunu ve kaynaklanabilirlik kabiliyetini arttırmak için karbon oranı düşük oranlarda sınırlı tutulmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kompozisyonunda kullanılan karbon miktarı ağırlıkça %0,05 ile %0,15 arasındadır.
- Çeliğin akma, çekme dayanımını arttırmak ve sementit fazının ferrit içerisine çökmesini azaltmak için silisyum kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kompozisyonunda kullanılan silisyum miktarı ağırlıkça %0,80 ile %1,00 arasındadır.

- 5 • Çeliğin dayanımını, sertleşebilme kabiliyetini artırmak için mangan kullanılmaktadır. Manganın en önemli özelliği düşük karbonlu bir çelikte gerekli olan yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerini katı çözelti sertleştirme mekanizması ile gerçekleştirecek olmasıdır. Ayrıca Mn, beynit başlangıç sıcaklığını düşürmektedir. TTT diyagramında ferrit ve perlit burunlarını sağa ötelemektedir. Düşük karbonlu
- 10 beynitik çelik eldesinde kullanılan mangan miktarı ağırlıkça %2,50 ile %3,00 arasındadır.
- Krom tokluk değerlerini düşürdüğü için kullanılmamaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda izin verilen krom miktarı ağırlıkça en fazla %0,20 oranındadır.
- 15 • Nikel yüksek maliyetli bir alaşım elementi olduğu için kullanılmamaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik eldesinde kimyasal kompozisyonda izin verilen nikel miktarı ağırlıkça en fazla %0,20 oranındadır.
- Molibden yüksek maliyetli bir alaşım elementi olduğu için kullanılmamaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik eldesinde kimyasal kompozisyonda izin verilen molibden miktarı ağırlıkça en fazla %0,03 oranındadır.
- 20 • Çelik üzerinde tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımları ile tokluğunu arttırmak üzere vanadyum kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan vanadyum miktarı ağırlıkça %0,05 ile %0,15 arasındadır.
- 25 • Çeliğin yapısındaki oksijeni gidermek, akma dayanımını ve darbe dayanımını artırmak ayrıca tane boyutunu küçültmek üzere alüminyum kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan alüminyum miktarı ağırlıkça %0,020 ile %0,100 arasındadır.
- Çeliğin işlenebilirliğini arttırmak için kükürt kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan kükürt miktarı ağırlıkça %0,040 ile %0,070 arasındadır.
- 30 • Çeliğin tane yapısını TiN çökeltileri ile inceltmek üzere titanyum kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik eldesinde kullanılan titanyum miktarı ağırlıkça %0,025 ile %0,040 arasındadır.

- 5
- Çelik malzemede TiN çökeltisi oluşumu için azot kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan azot miktarı ağırlıkça %0,005 ile %0,008 arasındadır.
 - Çeliğin rekristalizasyon sıcaklığını yükseltmek için niyobyum kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan niyobyum

10

 - miktarı ağırlıkça %0,030 ile %0,050 arasındadır.
 - Çeliklerde sertleşebilirliği arttırarak beynitik yapı eldesi için bor kullanılmaktadır. Düşük karbonlu beynitik çelik kimyasal kompozisyonunda kullanılan bor miktarı ağırlıkça %0,001 ile %0,003 arasındadır.

Düşük karbonlu beynitik çelik alaşımı üretim süreci, çelikhanede elektrik ark ocağında

15

hurdanın ergitilerek sıvı çelik elde edilmesinden sonra pota ocaklarında rafinasyon ve kimyasal kompozisyon belirleme süreci ile başlar. Kompozisyonu belirlenen sıvı çelik farklı döküm teknikleri ile (ingot döküm veya sürekli döküm) katılaştırılarak ingot veya kütük haline getirilmektedir.

Bu ingotlar veya kütükler daha sonra sıcak haddeme operasyonu için 1200 °C

20

sıcaklığa ısıtılarak final çap ölçüsüne haddelenmektedir. Buluşun üretim süreci sıcak hadde sonrasında tamamlanmaktadır. Elde edilen uzun yarı mamul makine-imalat sektöründe istenilen geometrilere işlenilerek kullanılabilir.

İslah çeliklerine benzer ve daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilen beynitik çeliklerin tokluk ve kaynaklanabilirlik özelliklerinin daha da iyileştirilmesi için bu çelik

25

grubu da zaman içerisinde geliştirilerek düşük karbonlu beynitik (DKB) çelikler adı altında yeni bir beynitik çelik grubu geliştirilmiştir. Bu tip çeliklerde artık karbon mukavemet özelliğini sağlayan en önemli element olmaktan çıkmış olup karbon oranının düşürülmesi ile kaybedilen mukavemet değerlerini kompanse etmek için Si, Mn, Cr, Mo, Ni gibi ana alaşım elementleri ve Ti, B, Nb, V gibi mikroalaşım elementleri

30

farklı oranlarda çeliğe ilave edilerek yeni çelik alaşımları tasarlanmaktadır.

Buna karşın, DKB çeliklerinin yüksek mukavemet ve tokluk değerlerinin sadece kimyasal kompozisyona değil haddeme şartlarına da önemli derecede bağlı olduğu belirtilmektedir. Sıcak şekillendirme sırasında uygulanan düşük deformasyon sıcaklığı ve yüksek deformasyon oranı malzemenin ince tane yapısında olmasını

35

sağlamaktadır.

5 Daha ince mikro yapı eldesini sağlayan bu proses, östenit tane sınırına çökelen mikro alaşım çökeltilerinin tane büyümesini engellemesi haricinde haddeleme sırasında östenit fazının rekristalize olduğu sıcaklığın (T_{NR}) altında uygulanan deformasyon işleme de dayanmaktadır ve bu işlem termomekanik haddeleme prosesi (TMHP) olarak adlandırılmaktadır. TMHP uygulaması ile üretilen yarı mamul veya nihai
10 parçaların TMHP ile şekillendirme sonrası soğuma hızı da beynitik yapı oluşumu ve malzemenin nihai mekanik özellikleri için belirleyici unsurlardan biridir.

Bu tip çeliklerin yarı mamul olarak üretimindeki zorluklardan biri de hadde sonrasındaki soğuma rejiminin kontrolüdür. Özellikle çapı 40 mm'den büyük olan uzun yarı mamullerin soğuma hızı malzemenin merkez bölgesine doğru yavaşladığı için tüm
15 yapının beynitik olarak elde edilmesi zorlaşmaktadır.

Sonuç olarak buluőa konu olan DKB çeliğin benzer özellikleri gösteren yüksek maliyetli ıslah çeliklerine göre farklılıkları aşağıda belirtilmiőtir:

- a. Kesinlikle yüksek maliyetli alaşım elementleri olan Nikel ve Molibden ilave edilmemesi,
- 20 b. Değeri arttıkça kaynaklanabilirlik seviyesinin düşmesinin bir göstergesi olan karbon eşdeğerinin 42CrMo4 çeliğine göre düşük olması,
- c. Termomekanik haddeleme şartları altında sıcak şekillendirme sonrasında mikroyapının durgun havada soğuma şartlarında beynitik olması,
- d. Tüm bu şartlar altında ıslahlı 42CrMo4 çeliğinin mekanik özelliklerinin
25 sağlaması.

Buluşun koruma kapsamı ekte verilen istemlerde belirtilmiőt olup, kesinlikle bu detaylı anlatımda örnekleme amacıyla anlatılanlar ile sınırlı tutulamaz. Zira teknikte uzman bir kiőinin buluşun ana temasından ayrılmadan yukarıda anlatılanlar eşliğinde benzer yapılanmalar ortaya koyabileceği aőıktır.